

<講演会②> BIMの普及に伴う 建築プロジェクト全体への影響について

早稲田大学理工学術院創造理工学部建築学科 講師（専任） 石田 航星

1 人口減少社会と生産性向上

我が国の建設業においては、建設業従事者の減少に伴う労働者不足もあり、生産性向上の必要性が盛んに述べられている。職業毎の従事者数が把握できる国勢調査によれば、建設業に関連する多くの職種において労働者数の減少が確認できる。図1に示すように建築工事や土木工事に関係する多くの職種が含まれる建設・土木作業従事者数は、最も多かった平成7年の308万人から205万人まで減少している。図2は最も直近に実施された国勢調査である2015年の結果と2010年、2005年における調査結果と比較し、増減率をパーセンテージで示した図である。図2に示すように建設業のうち、建設・土木作業従事者や電気工事従事者、建設機械の運転に関する従事者など現場作業に関係する多くの職業において従事者の減少が続いていることが確認できる。一方で建築技術者はこの10年で見ても労働者数の減少に歯止めがかかっている。また、参考として建築物の運用に関する職業であるビルやマンションの管理人数やビルの清掃員数も図1及び図2に示している。建築技術者

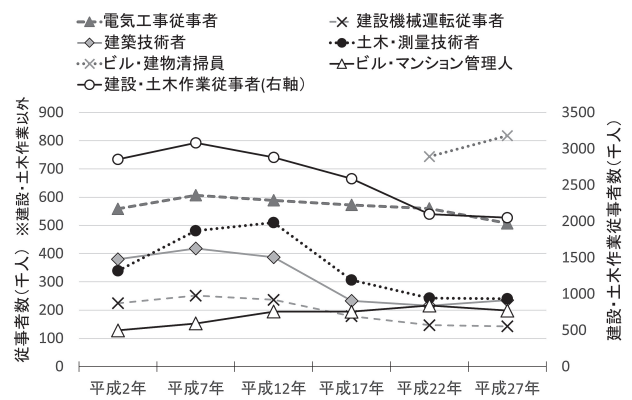


図1 建設業に関する労働者数の推移(注1)

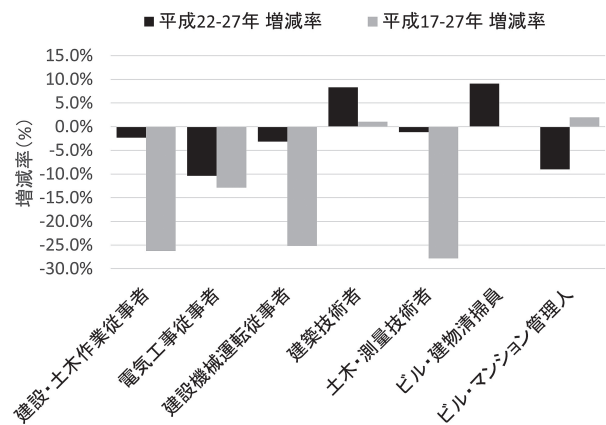


図2 建設業に関する労働者数の増減率(注1)

注1)職業毎の従事者数については国勢調査 時系列データ、「人口の労働力状態、就業者の産業・職業⁷⁾」の「第9表 職業（小分類）、従業上の地位（7区分）、男女別15歳以上就業者数－全国（昭和60年～平成27年）」を基に作成している。なお、平成2年から平成27年までの間に職業分類自体に変更があったため、国勢調査実施年毎の職業の定義を読み、集計し直している。図1及び図2における職種毎の集計方法を以下に示す。

建設・土木作業従事者：平成2～17年では「建設作業員」を用いている。

電気工事従事者：平成2～17年では「電気作業員」のうち、「発電員、変電員」を除いた人数を用いている。

建設機械運転従事者：平成22、27年では「クレーン・ウインチ運転従事者」と「建設・さく井機械運転従事者」の合計を、平成2～17年では「クレーン・ウインチ運操作業員」と「建設機械運操作業員」の合計を用いている。

ビル・マンション管理人：すべての年で「マンション・アパート・下宿・寄宿舎・寮管理人」と「ビル管理人」の合計を用いている。

ビル・建物清掃員：平成22、27年はビル・建物清掃員の人数を用いている。これ以前は、「清掃員」でまとめられており、ビル清掃以外の清掃員との区別がつかないため、データなしとした。

や施設管理人、ビル清掃員の従事者数は、工事に関係する職業と比較するとあまり減少していないことが確認できる。

2 建設業の生産量と生産性

前述のように、建設業における労働者数の減少は特に工事に関係する職種において深刻化している。建築物や土木構造物そのものの生産に参加する現場作業者の減少傾向は、日本国内における建設産業の生産力減少に直結する。ただ、人口減少時代にある我が国において労働者数の減少に歯止めをかけること自体、難しい。そのため、このような環境におかれた建設産業では、生産量（額）を維持するために労働生産性を向上させることが必要となる。この労働生産性は分子に付加価値額を用いる付加価値労働生産性と、分子に生産した物品自体の量を用いる物的労働生産性の2種類存在する。

○付加価値労働生産性¹⁾

$$\text{付加価値労働生産性} = \frac{\text{output (付加価値額)}}{\text{input (労働投入量)}}$$

○物的労働生産性¹⁾

$$\text{物的労働生産性} = \frac{\text{output (生産量)}}{\text{input (労働投入量)}}$$

※労働投入量：労働者数×労働時間

なお、建築工事においては、工事現場によって従事している労働者の労働時間や労働日数が異なるため、労働投入量は（労働者数）×（労働時間）を用いることが望ましいと考えられる。

建築工事の効率の分析においてよく用いられる日本建築学会の作業能率測定指針²⁾に示される手法は概ね物的労働生産性を想定している。建築工事は多くの工種の共同作業により一つの建築物が生産されるため、ある作業における生産性の計測を行う場合、その作業により生産された付加価値

の定義が難しい。そのため、建築分野における生産性研究では物的労働生産性の方が用いられることが多い。

この労働生産性を向上させることを目的としてBIMや建設ロボットなどへ設備投資を行うことが多いように思われる。ただ、このような設備投資により生産に関与する人数を減少させる試みは、資本の投入量とトレード・オフになっている可能性がある。例えば、部材の揚重を100%人力に頼った荷揚げから、工事用エレベータを用いた作業に変更した場合、部材の揚重に参加する作業者数が減少するため労働生産性は向上するが、資機材への投資が同時に行われるため資本生産性は低下する。

このような資本や労働など投入量と生産量（あるいは生産額）の関係性を示す手法については古くから研究がなされてきた。本稿では、代表的な生産関数としてCobb-Douglas型生産関数³⁾を用いて解説を行う。Cobb-Douglas型生産関数は以下の式により定義される。

○Cobb-Douglas型生産関数：

$$y = AK^{\beta_k}L^{\beta_l}$$

K ：資本投入量 L ：労働投入量 β_k ：資本分配率

β_l ：労働分配率 A ：全要素生産性

ただし、 $\beta_k + \beta_l = 1$

建設業における付加価値や建築物の生産量がCobb-Douglas型生産関数で示されるように、投入される労働量や資本量により決定されるのであれば、労働者が不足する環境下で完全週休2日制導入を実施した場合、建設業における労働投入量が大きく減少するため、何も対応策を施さない限り、建設業が供給してきた財の生産量が減少することになる。一方で、多くの産業において完全週休2日制が導入されている日本社会において、建設分野における完全週休2日制への移行が遅れると有望な新規入職者が他産業へ流れていく可能

性が高く、建設産業の持続性の観点からも完全週休2日制の導入は非常に重要である。このように労働者数の減少と労働時間の削減に同時に対処することが求められる我が国の建設産業においては、Cobb-Douglas型生産関数を想定した場合、労働力の減少を補うための建設機械やソフトウェアへの投資を断続的に行う資本投下を実施し、労働生産性の向上による生産量の維持がまずは重要な課題であると考えられる。

また、投入される労働量と資本量の増加分以上に生産量を増加させることを目指すことも重要である。Cobb-Douglas型生産関数を仮定した場合、この時に必要になる要素が前掲の式の係数であるAが変化することである。一般にこの係数Aは現存技術の生産性³⁾を表し、「全要素生産性」と呼ばれる。The OECD Innovation Strategy⁴⁾によれば、OECD加盟国の生産性の向上の大きな要因としてイノベーションが挙げられている。なお、同資料によれば、1995年から2006年までのOECD諸国では、無形資産への投資と全要素生産性の成長が労働生産性の成長の3分の2から4分の3を占めている⁴⁾と推定されている。そしてこの全要素生産性の向上にはイノベーションが重要な役割を果たすと考えられる。

3 建築産業における技術開発の動向

建築産業が持続的に発展していくための一つの手段として、技術開発が重要であることは明らかである。建築産業における技術開発の動向を確認するために日本建築学会が発行する論文集や雑誌に掲載された記事の件数の推移を集計し、図3としてまとめている。

このデータは、建築プロジェクトにおける生産性向上に関係する技術開発の動向を把握するために「生産性」「BIM」「工業化」「ロボット」の四つのキーワードが含まれる記事・論文を調べ、件数を発行年毎に示している。「工業化」は戦後、

継続的にキーワードとして用いられてきた概念である一方で、「ロボット」に関する研究は建築分野においては1980年代以降に研究が公表されるようになってきていることが確認できる。BIMは2000年代後半に我が国に紹介され始めた技術であるため、2010年代に入ってから急速に注目された技術であることが確認できるが、同時期に「生産性」に関する論文・記事数も大きく上昇していることも確認できる。

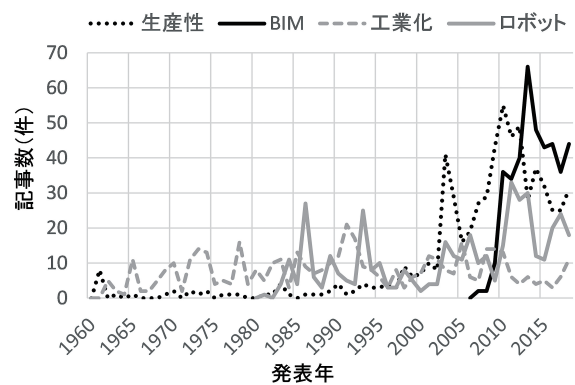


図3 建築学会における論文数・記事数の推移^{注2)}

4 イノベーションの種類⁵⁾

ところで、このイノベーションとは、本来どのような概念なのかを確認しておきたい。

イノベーションに関する統計調査の国際標準である「Oslo Manual⁶⁾ (オスロ・マニュアル)」によれば、イノベーションには、新製品(新サービス)開発を目指すプロダクト・イノベーションと生産コストの低下を目指すプロセス・イノベーションや、流通方法全体の革新を目指すものなどに分けられる。具体的にはイノベーションは以下

注2) 論文検索用のWebサイトCiNiiにおける検索結果を基に集計している。検索方法としては、四つの用語をそれぞれ検索語として入力し、同時に出版者を「日本建築学会」に限定している。その上で、検索結果をTSV形式で出力し、エクセル上で集計した。なお、全く同一の論文が別の項目として検索件数に含まれる例があり、筆者が論文タイトル、著者、掲載誌、掲載時期を確認し、重複していると思われる記事の名寄せを行っている。

のように、まず大きく二つに分類されている。なお、原文は英語であるので、いずれも筆者が意識したものである。

プロダクト・イノベーション：

プロダクト・イノベーションとは、新製品（もしくは新サービス）や、以前のものとは大きく異なるような改良を施した製品（やサービス）を市場に導入することを指す。

ビジネス・プロセス・イノベーション：

ビジネス・プロセス・イノベーションは新たなビジネス・プロセスや改善されたビジネス・プロセスを企業に導入することを指す。改善されたビジネス・プロセスとは一つ以上の業務（business functions）がそれまで実施してきたプロセスから大きく異なるような変化を含むことを指す。

そして、2018年版のオスロ・マニュアルにおいては、ビジネス・プロセス・イノベーションは、更に以下の六つの小分類が設定されている。

- (1) 製品（サービス）の生産に関するもの
Production of goods or services
- (2) 流通と物流に関するもの
Distribution and logistics
- (3) マーケティングや販売手法に関するもの
Marketing and sales
- (4) ICT技術に関するもの
Information and communication systems
- (5) 組織やマネジメントに関するもの
Administration and Management
- (6) 製品とビジネス・プロセスの開発に関するもの
Product and business process development

5 建設業におけるビジネス・プロセスの見直し

オスロ・マニュアルにおける定義にもあるように、建築産業において生産性向上を実現していくときには、プロダクト・イノベーションと並んでビジネス・プロセス・イノベーションが重要になると考えられる。特に建築プロジェクトのプロセスに大きな変化をもたらすBIMの導入により、生産性向上を目指す際には、従来からある建築プロジェクトの実施方法の一部にBIMを導入するのではなく、建築プロジェクトの実施方法をBIMを始めとした新技術を前提としたものに組み替えていくことが重要になると考えられる。

ところで、建築産業におけるビジネス・プロセス・イノベーションを起こす際に生じる大きな課題として複数企業間での連携が必須である点が挙げられる。このことを説明するために、設計施工分離発注方式においてBIMを中心に据えたプロジェクト実施方法を仮定し説明していきたい。

設計施工分離発注方式においては、まず設計者を選定し、実施設計が完了した後、工事入札により施工者の選定が行われる。ただ、施工者の選定後も、元請となったゼネコンが、設計者の作成した設計図書に従い、施工図などの工事を実行するための図面を作成していく。また、元請になりたい建設会社は工事入札時にある程度、下請として参加する協力会社の目処はつけるものの、実際の契約は工事進捗に合わせながら専門工事会社や機器や建材を製造するメーカーを選定していくことが一般的である。ただ、この方式では図4に示すように建築プロジェクトに参画する主要な事業者が確定し、プロジェクトへの主要な参加者が確定するまで長い時間を要することになる。

この図4に示すようなプロセスは、BIM導入のメリットを打ち消すデメリットを発生させる可能性がある。BIMデータの作成では建築物の3次元

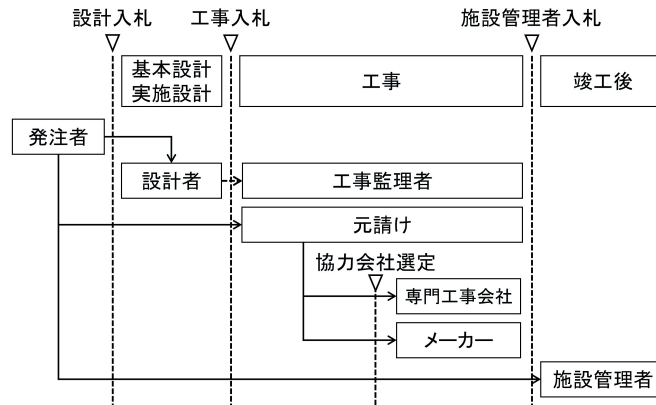


図4 設計施工分離型における参加企業の選定プロセスのイメージ

形状に加えて、属性情報も付加しながらデータを作り込んでいく必要がある。更に、従来2次元で設計した図面を3次元化することにより、これまで形状情報が入力されていない部材・部品のデータ作成が発生しやすい。また、2次元図面の重ね合わせでは気がつかなかったような設計上の不整合が3次元化により早期に発見できる可能性もあるが、設計の不整合の修正は設計の詳細度が高ければ高いほど、手間がかかるものになりやすい。特に建築物の生産は建築プロジェクトに参加する設計者と専門技術者間のすり合わせが必要となるため、意思決定を行える設計者と技術者の参加が重要となる。このように、現状では2次元製図に比べてBIMデータの作成には大きな手間がかかると考えられるため、設計変更による手戻りを必要最小限に留めることが重要である。ただ、設計が

確定した状態を作るには、設計者、元請、専門工事会社、メーカーなどの各社間で実施する設計案の調整を行うことが必要である。

この設計の確定作業を円滑に進めるには専門工事会社や機器を納品するメーカーを確定することが必要になるため、BIMデータ作成を考えれば、建築プロジェクトの体制が早期に確定することが望ましい。また、建築物の複雑化に伴い、専門工事会社やメーカーの知識やノウハウが非常に重要となっている。そのため、BIMデータを介して多くの専門家が自らの専門知識を提供できる協業体制を築くことでこれから新築される建築物そのものの質を向上させる点でも、プロジェクト体制を早期に確定させることのメリットは大きいと考えられる。

このようにBIMを始めとした新技術の導入にお

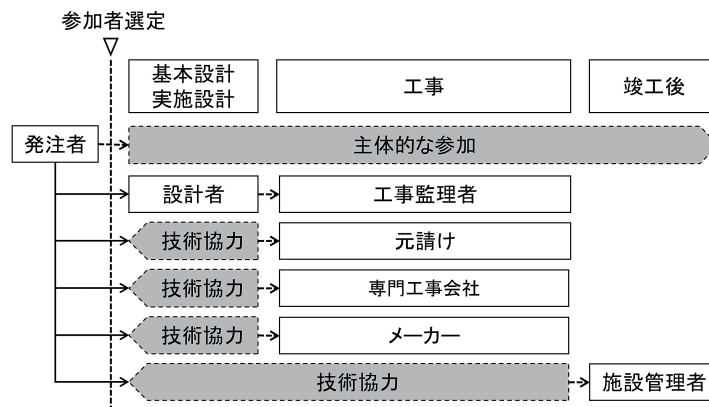


図5 早期に建築プロジェクトの体制を決定する選定プロセスのイメージ

いては、BIMデータ作成の自動化技術や、BIMと連動する建設ロボットなどの新技術の開発そのものも重要であるが、同時に新たな技術が効果を発揮できる環境を構築していくことも重要である。ただし、この新たな技術が効果を発揮できる環境を建築プロジェクトにおいて実現しようとする場合、プロジェクトに参画する複数企業間での業務プロセスの見直しが求められることになり、建築産業全体における取組みとして推進していくことが求められる。

6 海外における事例収集の重要性について

これまで示したように、建設産業全体の生産性を向上させるためには、プロダクト・イノベーションだけでなく、ビジネス・プロセス・イノベーションについても継続的に投資を行い、変革を進めていくことが求められる。ただ、建築物の生産では、新築プロジェクト毎に、参加する企業を募る方式でプロジェクトが運営されるため、同一組織内において建築プロジェクトの実施方法を改善していくことに限界が存在する。

そのため、もしBIMの導入を契機として建築プロジェクトにおいて、ビジネス・プロセスの改善を実施しようとする、自ずと我が国の建設産業において一般的に実施されている入札・契約方式から見直していくことが必要になると考えられる。ただ、BIMなどの新技術を前提とした建築プロジェクトのあり方を検討し、実際に入札・契約方式の見直しを行った建築プロジェクトを実施することはかなりの難事である。また、建築プロジェクトの実施方法を大きく改善した場合の効果と問題点を収集するためには一定数の導入事例が必要となり、業界全体での協力体制が重要になる。

ここで海外に目を向けてみると、我が国の建築産業においても重要な知見が存在すると考えられる。建築プロジェクトの実施方法は各国において

固有の形態を有しており、入札・契約方式のみならず、建築プロジェクトに参画するプレーヤーの役割や、費用の精算方式なども各国で大きく異なった様相を示している。これは、本誌においてもしばしば取り上げられている。

一方でBIMの導入は、日本だけでなく世界各国で積極的に試みられているが、BIMの導入において利用されるソフトウェアやデータ作成の概念はISO 19650やIFCのように国際規格も存在することから、ある程度の共通性が存在する。そのため、日本における建築プロジェクトの実施方法と異なる仕組みを有する国や地域におけるBIMの導入事例や、BIM等の導入時における問題点を収集・整理することで、我が国における建築産業全体の生産性向上に貢献し得る重要な知見が多く存在していると考えられる。

このような背景を踏まえ、筆者らは、BIMの導入に積極的な諸外国における導入事例の収集のために、海外調査を実施している。本稿では2019年8月に実施した台湾調査における結果を一部紹介する。

7 台湾におけるBIMの導入状況について

台湾においてもBIMは盛んに導入されており、公共工事においても公的発注者の側から強くBIMの導入が求められている。一方で、我が国のような設計と施工を同一の企業が受注するような入札・契約方式がほとんど存在しないと言われており、建築プロジェクトの実施方法が大きく異なる様相を示していると考えられる。

そこで、建築コスト管理システム研究所の支援により、台湾における現地調査を実施している。現地調査の概要については、本誌P.25以降にある遠藤らによる報告を参考にさせていただきたい。本稿では、現地調査を踏まえ、我が国におけるBIMの利用においても参考になる事例として「地方自治体によるBIMの強力な推進」、「確認申請の

電子化」「BIMに関する契約書式」の三つについて紹介を行いたい。

台湾においてBIMを強力に推進している団体として台北市や新北市などの大規模自治体が挙げられる。現地企業へのヒアリングにおいてBIMに関する先進的な取組みの担い手としてよく名前が挙がった自治体である新北市では、BIMを始めとしたICT技術と建設産業をどのように融合、発展させていくか、その方法に関してまとめた「BIM4.0 雲端作業整合平台⁸⁾ (BIM4.0:クラウド上での共同作業のためのプラットフォーム)」が公表されている。この資料においてはBIMデータによる電子確認申請や、有効面積などの「設計条件の確認方法の数式化と標準化(数値化與標準化資料呈現)」などが示されるだけでなく、BIMとGISの統合など建設分野全体の電子化をどのように描いているのかという将来像に関するイメージが示されている点に特徴がある。確認申請業務等の効率化などの行政内部における事務手続きの省力化の範囲に留まらず、建設産業の情報化の将来像に関して明確なビジョンが大規模な地方自治体内部に存在している点については興味深い事例であると感じる。

また、確認申請の電子化についてはいくつかの自治体において運用が開始されていることが確認できた。例えば台北市においては、Web上で確認申請の審査状況を確認できるWebサービスが運用されている⁹⁾。この仕組みでは、申請者や建築規模、設計者などに加えて、行政内部で審査に関与する担当者名と審査段階が確認できるようになっている。

さらに、前出の新北市においては設計データをWebサイト上で提出することにより、確認申請が実施できる仕組みの運用が開始されているようである¹⁰⁾。

そして、現地企業において利用されているBIMデータ作成に関する約款や指針が存在することが分かり、代表的なものを入手することができた。

なお、今回の現地調査において確認した約款では工事本体の契約とは別に結ばれる、BIMのための契約となっていた。また、工事段階において工事の元請企業に対してBIMモデルの作成を依頼する約款に加えて、公共工事において竣工BIMとしてどのようなデータを作成するか示した指針に関する資料も確認できた。

例えば、「BIMモデルの作成に関する約款(元請用)」と呼ばれるものは、以下の五つの章で構成されていた。

BIMモデルの作成に関する約款(元請用)

1. 全体目標
2. BIMデータの作成基準
 - 総価請負もしくは分離発注方式におけるBIMデータの作成基準
3. BIMの作成段階と各段階における作成内容
 - (1) 第1段階 工事前段階
 - (2) 第2段階 工事初期段階のBIMデータの作成と製図資料との統合
 - (3) 第3段階 施工レベルのBIMデータの構築と修正方法
 - (4) 第4段階 竣工後のBIMデータと確認
4. 知的財産権
5. BIM作成に関する費用の精算方法

この約款では、工事前の準備段階において作業実施計画(BIM Execution Plan, BEP)の作成を受注者側が求められるだけでなく、発注者とPCM(Professional Construction Management: 專業營建管理)に対するBIMに関する教育訓練についての項目が含まれている点が特徴的である。なお、ヒアリングにおける口頭での確認に留まっているが、新技術を建築工事において導入する際に、発注者側への新技術のレクチャーを契約に含めることがしばしば行われているようである。

8 まとめ

冒頭で述べたように、我が国においては建設業全体の生産性向上が重要な課題である。また、本質的な生産性向上を実現するためには、新技術の開発やソフトウェアや人材への投資に加えて、ビジネス・プロセスの革新も重要なテーマであり得ることを述べた。特にBIMなどの新技術の導入効果を最大限に発揮するためには建築生産に関わるプロセスも、変えていく必要がある。ただ、これまで建築物の生産のために営々と続けられてきた我が国の入札・契約方式を大きく変えることはリスクも伴うため、BIMにあったプロジェクト体制を考察する際に海外調査の重要性について述べた。

ここに紹介した台湾におけるBIMの導入状況は、今回の調査で確認した範囲では、公共工事や大規模工事についてはかなり進んでいる印象を受けた。また、台湾における公的発注者の取組みにおいて、明確な技術ロードマップを保持し、公共分野におけるBIMの導入戦略を地方自治体も考えていることが窺えた。更に、発注者へのBIMに関する知識の教育方法もBIMデータ作成を契約に含むなど、我が国においても参考になる事例がいくつか確認できた。海外調査の詳細な内容については、情報を精査でき次第まとめて公表していきたい。

(参考文献)

- 1) 宮川努, 滝澤美帆『グラフィック マクロ経済学』pp.372-376, 新世社, 2011.6
- 2) 日本建築学会『作業能率測定指針』1990.2
- 3) N.グレゴリー・マンキュー著, 足立英之, 地主敏樹, 中谷武, 柳川隆 翻訳『マンキュー マクロ経済学I入門篇』p.83-87, 東洋経済新報社, 2017.11
- 4) The OECD Innovation Strategy, Getting a Head Start on Tomorrow-Key findings, p.4, <https://www.oecd.org/sti/inno/theoecdinnoationstrategygettingaheadstartontomorrow.htm>, 2019/10/20閲覧
- 5) 石田航星「BIMを通じた建築産業の持続可能な発展のために必要なことに関する考察」『日本建築学会 施工BIMにおけるマネジメント技術に関するシンポジウム 資料』pp.29-39, 2019.10
- 6) OECD, Oslo Manual 2018 Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation, 4th Edition, <https://www.oecd.org/science/oslo-manual-2018-9789264304604-en.htm>, 2018.10
- 7) 総務省統計局「国勢調査 時系列データ 人口の労働力状態 就業者の産業・職業」https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&touketu=00200521&tstat=000001011777&cycle=0&tcltcl1=000001011807&result_page=1, 2019/10/20閲覧
- 8) 新北市「BIM4.0 雲端作業整合平台-建造執照審查輔助查核系統」p.9, http://203.66.45.230/files/file_pool/1/0i306306306613550941/2018%E5%B9%B401%E6%9C%88-%E6%8A%80%E8%A1%93%E5%B0%88%E5%AE%B6-new%20taipei%20bim4.0.pdf, 2019/11/25閲覧
- 9) 臺北市「建管業務e辦網」<http://tccmoapply.dba.tcg.gov.tw:8080/tccmoatccm/maliapp/asp/asp01.do?node=20181022092052018102#>, 2019/11/25閲覧
- 10) 新北市「建築執照電腦輔助查核系統」<https://www.bim.ntpc.gov.tw/>, 2019/11/25閲覧